

Опыт корреляционного анализа результатов радиационного контроля источников выбросов радионуклидов и окружающей среды в СЗЗ Нововоронежской АЭС

В статье представлен корреляционный анализ результатов радиационного контроля источников выбросов радионуклидов и окружающей среды в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) Нововоронежской АЭС (НВАЭС). Проведена оценка функциональной связи между параметрами выбросов энергоблоков и результатами радиационного контроля окружающей среды в СЗЗ НВАЭС и оценка через линейный коэффициент корреляции Пирсона.

**В.П.Поваров, С.В.Росновский,
В.Н.Карасев, О.В.Росновская,
А.С.Димитрийчев,
Д.В.Чернышов, В.С.Росновский**
(Филиал АО «Концерн Росэнергоатом»,
«Нововоронежская АЭС», г. Нововоронеж)

1. Требования нормативных документов к оценке корреляции параметров источника выброса и результатов РКОС

В соответствии с требованиями действующих нормативных документов, при эксплуатации энергоблоков АЭС должна осуществляться периодическая оценка корреляции результатов радиационного контроля окружающей среды (РКОС) с результатами контроля выбросов радионуклидов через венттрубы (параметрами источников выбросов).

Так, в соответствии с пунктом 11.5.2.2 [1]: «[В ООБ] Должна быть представлена информация о том, каким образом в СЗЗ и зоне наблюдения обеспечивается: ...установление корреляции результатов радиационного контроля окружающей среды с данными радиационного контроля выбросов и сбросов РВ...»

Ключевые слова: оценка корреляции, мониторинг, радиационный контроль, выбросы, радионуклиды.

Очевидно, что прямая функциональная зависимость между указанными параметрами может быть установлена лишь для простейшего случая, когда источник выбросов на площадке АЭС один, а интенсивность выброса постоянна во времени. В этом случае пространственное распределение радионуклидов на местности, прилегающей к АЭС, будет в основном совпадать с розой ветров, характерных для данной местности, с учетом влияния подстилающей поверхности.

На практике на площадке АЭС, как правило, располагается несколько источников выбросов, причем интенсивность каждого источника в течение года носит неравномерный характер. Интенсивность выбросов радионуклидов через венттрубы реакторных отделений энергоблоков (которые вносят определяющий вклад в формирование полей распределения нуклидов в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН)) зависит от множества факторов (наличие неплотных ТВС в активных зонах реакторных установок, эффективность систем спецгазоочистки, проводимых операций по водообмену 1 контура, общей культуры выполнения радиационно-опасных работ и т. д.) и, как правило, существенно возрастает в период плановых и внеплановых ремонтов энергоблоков.

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [2]: «...Мониторинг окружающей среды... подразделяется на две категории: мониторинг окружающей среды, ориентированный на источник, и мониторинг окружающей среды, ориентированный на человека...»

Мониторинг окружающей среды, ориентированный на источник, предусматривает измерение мощности поглощенной дозы в воздухе или концентраций активности, вызванной указанным источником или практической деятельностью; для распознавания доли исследуемого конкретного источника или практической деятельности может оказать-

ся необходимым проведение сравнительных измерений.

Мониторинг окружающей среды, ориентированный на человека, – это мониторинг окружающей среды в ситуации, когда может иметься несколько источников, облучающих одну и ту же группу людей; главной задачей является оценка доз, получаемых от всех этих источников...

...Если загрязнение обусловлено выбросами из нескольких источников, суммарная доза рассчитывается с учетом результатов мониторинга окружающей среды, но обычно бывает трудно привязать составляющие доли дозы к каждому источнику...

...Необходимо подчеркнуть, что расчет доз на основе результатов мониторинга окружающей среды является предпочтительным, если загрязнение воздуха, воды и пищи было быстро измерено, а количество результатов позволяет получить большой объем статистических данных. В целом, только некоторые из сброшенных радионуклидов можно определить сверх пределов обнаружения в соответствующих природных средах и пищевых продуктах. Поэтому в большинстве случаев расчет доз на основе результатов мониторинга окружающей среды необходимо дополнять расчетами, выполненными с учетом результатов мониторинга источника по радионуклидам, которые невозможно обнаружить в окружающей среде...»

В настоящее время на промплощадке НВАЭС источниками выбросов являются 11 венттруб 1–4 очередей (1–2 блоки находятся на этапе вывода из эксплуатации, 3 блок – на этапе подготовки к выводу из эксплуатации, 4–7 блоки – на этапе эксплуатации с генерацией). Дополнительный вклад в формирование полей радионуклидов на местности вносят выбросы, формируемые при эксплуатации комплекса плазменной переработки радиоактивных отходов (КПП РАО), осуществляемой

Филиалом АО «Концерн Росэнергоатом» «Опытно-демонстрационный инженерный центр по выводу из эксплуатации» (ОДИЦ) через венттрубу 1–2 блоков НВАЭС, остановленных для вывода из эксплуатации.

Очевидно, что однозначные функциональные зависимости между результатами радиационного контроля вышеуказанных 11 источников выбросов и результатами РКОС в СЗЗ и ЗН не могут быть получены с необходимой достоверностью.

2. Оценка наличия функциональной связи между параметрами выбросов энергоблоков и результатами РКОС в СЗЗ НВАЭС на основе функциональных зависимостей

В 2022 году специализированной организацией по заказу эксплуатирующей организации – АО «Концерн Росэнергоатом» – проведен анализ данных радиационного контроля источников выбросов на площадке НВАЭС и результатов РКОС в СЗЗ, ЗН НВАЭС с целью выявления зависимостей [3].

Выполнена экспертная оценка обоснованности результатов определения активности выбросов радиоактивных веществ с АЭС по данным радиационного контроля объектов окружающей среды в районах расположения атомных станций на примере НВАЭС.

Для моделирования атмосферного переноса были сформированы перспективные метеорологические поля с использованием региональной модели прогноза погоды за 2021 г. Шаг расчетной сетки составлял 0,66 км. Расчетный период составлял 1 год (с 01.01.2021 по 31.12.2021 с интервалом 1 час).

Сформирована модель оценки приземной концентрации от 11 штатных источников выбросов на площадке НВАЭС, а также за счет вторичного пылеподъема радионуклидов, накопленных за 60 лет эксплуатации АЭС и черномыльских выпадений.

Среднесуточные приземные концентрации, связанные с атмосферным переносом от организованных выбросов, рассчитывались с использованием аттестованного кода НОСТРА-ДАМУС по данным контроля выбросов, предоставленных НВАЭС. В качестве входных данных для расчетного анализа принимались: посуточная динамика выброса радионуклидов НВАЭС за год и ретроспективные трехмерные метеорологические поля для 2021 года.

Среднесуточные приземные концентрации, связанные с вторичным пылеподъемом, рассчитывались на основе данных о загрязнении почвы и моделей расчета концентрации при вторичном пылеподъеме [4] от выпадений, сформированных за 60-летний период эксплуатации НВАЭС, и выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС.

По результатам проведенной работы:

1. Вклад фактических выбросов от НВАЭС в формирование загрязнения почвы в СЗЗ оценен на уровне 1% от общей активности в приземном слое, обусловленной, в первую очередь, вторичным пылеподъемом.

2. Указано на невозможность сделать однозначный вывод о наличии/отсутствии корреляции в силу неопределенности моделирования на 2 порядка величины по причине недостаточности исходных данных:

- только 2 поста контроля с достоверными значениями концентраций радионуклидов на уровнях выше минимально-детектируемой активности – ДП-1 и ДП-11;
- в местах расположения указанных постов отсутствуют данные измерений поверхностного загрязнения почвы, которые восполнялись на основе осредненных по соответствующим данным;
- неопределенности в выборе коэффициентов вторичного пылеподъема.

3. Сделан вывод о нецелесообразности корреляции результатов РКОС с результатами контроля выбросов.

К сожалению, выводы Отчета [3] прямо противоречат требованиям НП-006-16 и лишь подтверждают рекомендации МАГАТЭ [2].

В то же время, отсутствие прямой функциональной зависимости между измеряемыми величинами отнюдь не означает полное отсутствие корреляционной связи.

3. Оценка корреляции процессов через линейный коэффициент корреляции Пирсона

В соответствии с классической теорией, наблюдаемые процессы могут быть связаны:

- функциональной связью;
- стохастической зависимостью.

Функциональная связь – это вид связи, при которой некоторому взятому значению факторного показателя соответствует лишь одно значение результативного показателя:

$$y = f(x),$$

В том случае, когда причинная зависимость действует не в каждом конкретном случае, а в общем для всей наблюдаемой совокупности, в среднем при значительном количестве наблюдений, то такая зависимость является стохастической. Частным случаем стохастической зависимости является корреляционная связь, при которой изменение средней величины результативного показателя вызвано изменением значений факторных показателей.

Для определения уровня связи между корреляционно связанными процессами используется линейный коэффициент корреляции Пирсона, который показывает степень тесноты и направления связи между двумя коррелируемыми факторами:

$$r = \frac{(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y},$$

где σ_x и σ_y – дисперсия факторного и результативного признака соответственно.

Линейный коэффициент корреляции Пирсона может принимать значения от -1 до 1 .

Степень тесноты связи факторного и результативного признаков оценивается по шкале Чеддока:

Величина показателя тесноты связи	Характер связи
До $\pm 0,3$	Практически отсутствует
От $\pm 0,3$ до $\pm 0,5$	Слабая
От $\pm 0,5$ до $\pm 0,7$	Умеренная
От $\pm 0,7$ до $\pm 1,0$	Сильная

Оценка сходимости процессов. Организация контроля корреляции и сходимости

В связи с отсутствием на данный момент утвержденной методики оценки корреляции, ОРБ НВАЭС производится сравнительный анализ (оценка сходимости) результатов радиационного контроля окружающей среды с результатами контроля выбросов радиоактивных веществ НВАЭС и ОДИЦ по результатам сравнения значений ежеквартальной суммарной активности выбросов со всех источников НВ АЭС и ОДИЦ (лабораторный контроль аналитических фильтров в МБк) и ежеквартальной суммарной активности на седиментационных и аспирационных постах ЛВРК (в Бк), начиная с 2020 года по радионуклидам Cs-137 и Co-60.

Оценка сходимости является дополнительным способом контроля наряду с линейным коэффициентом корреляции Пирсона. Оценка сходимости процессов производится по формуле:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{y_i}}{\frac{n}{x_i} y_i},$$

где x – значение суммы активностей контрольных фильтров всех источников выбросов

за квартал; у – значение суммы активностей аспирационных и седиментационных постов за квартал.

Выпущено распоряжение ЗГИРЗ от 09.12.2022 №115/2022-ОРБ «Об организации проведения оценки корреляции результатов РКОС с результатами контроля выбросов РВ НВАЭС», в соответствии с которым осуществляется контроль корреляции, оценка сходимости и документирование их результатов.

Для ряда радионуклидов (например, для Cs-137) выброс ОДИЦ является соизмеримым с выбросами действующих энергоблоков НВАЭС, а иногда является определяющим. Помимо этого, для радионуклида Cs-137 не определено влияние его нахождения в призем-

ном слое в местах расположения постов, не связанное с деятельностью АЭС (результаты ядерных испытаний и авария на ЧАЭС с учетом большого периода полураспада и сезонным ветропереносом).

Результаты текущих расчетов линейных коэффициентов корреляции Пирсона представлены на рис.1 и рис.2.

Таким образом:

- расчетное значение коэффициента корреляции для цезия-137 позволяет говорить об умеренном характере связи (ближе к слабому). Это обусловлено существенным влиянием цезия-137, выбрасываемого ОДИЦ и поступающему на фильтры вследствие вторичного ветроуноса из почвы;

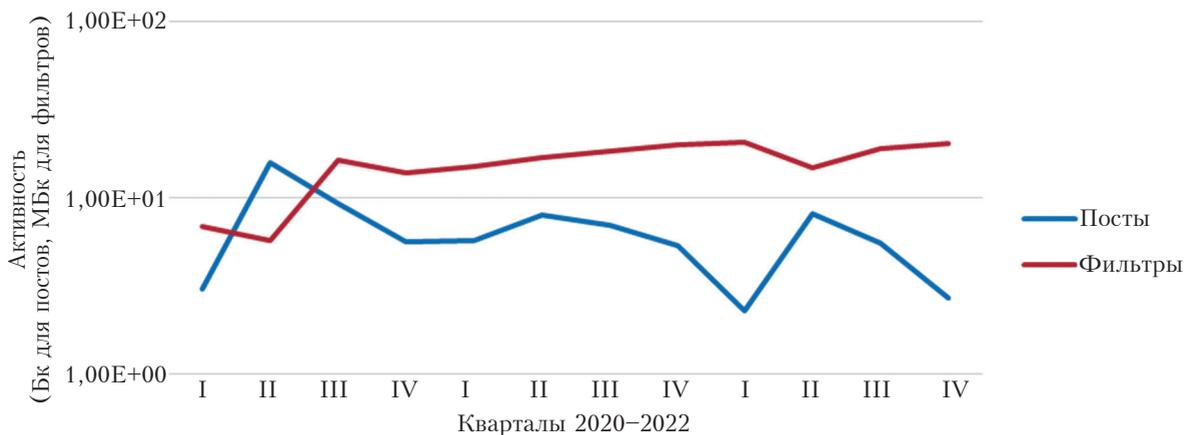


Рис.1. Данные по активности Cs-137. Коэффициент корреляции, рассчитанный за 12 кварталов, составил 0,5187.

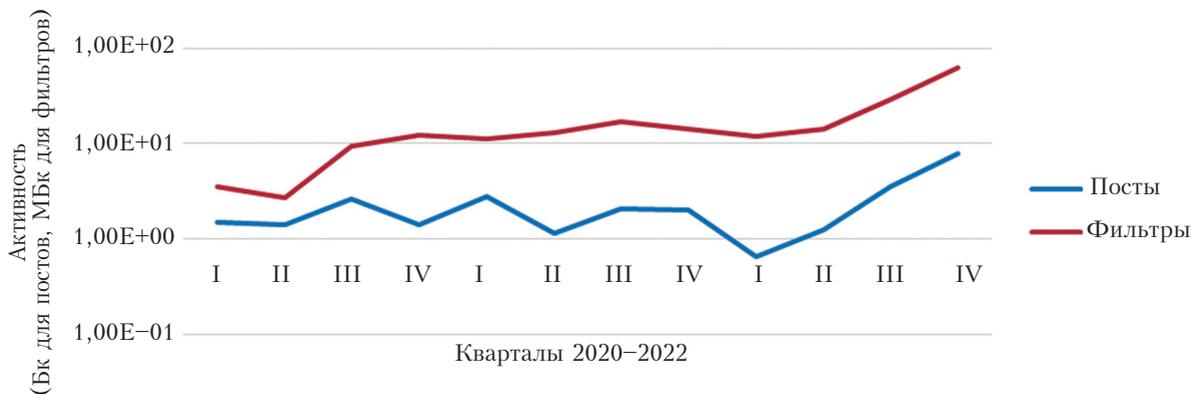


Рис.2. Данные по активности Co-60. Коэффициент корреляции, рассчитанный за 12 кварталов, составил 0,918537.

- расчетное значение коэффициента корреляции для кобальта-60 позволяет говорить о том, что влияние выбросов НВАЭС на активность фильтров на наблюдательных постах носит определяющий характер (сильный характер связи).

4. Результаты текущих расчетов сходимости представлены на рис.3 и рис.4.

Таким образом, результаты контроля взаимозависимости процессов по величине линейного коэффициента корреляции Пирсона являются более достоверными для длительного периода времени (коэффициент Пирсона носит инерционный характер).

Результаты оценки сходимости позволяют оперативно отследить скачкообразные расхождения сравниваемых величин, что является важным для оперативного контроля.

Таким образом, наиболее целесообразным является применение обоих методов контроля, взаимодополняющих друг друга.

Заклучение и предложение

1. В настоящее время в сфере регулирования в области обеспечения радиационной безопасности объектов использования атомной энергии в Российской Федерации имеет место определенный правовой вакуум, связанный с наличием регуляторного требования

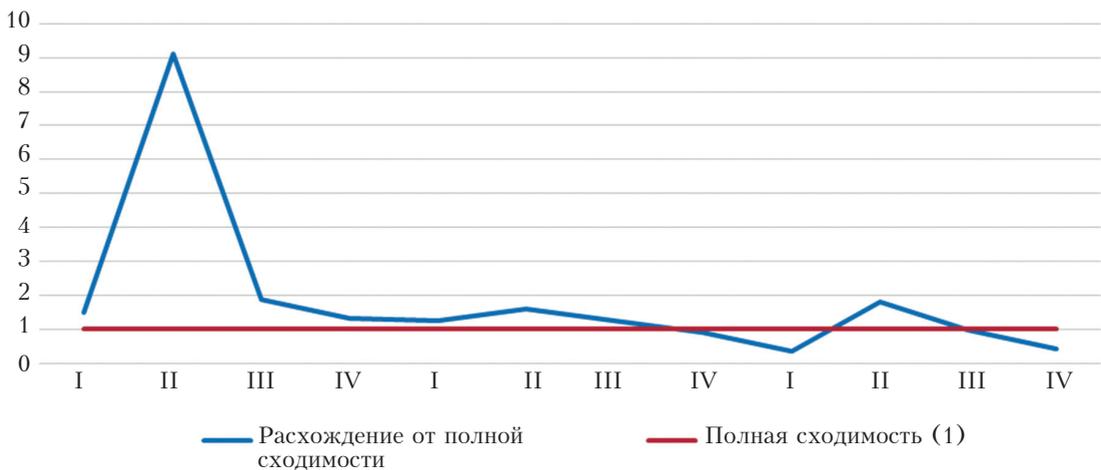


Рис.3. Оценка сходимости Cs-137.

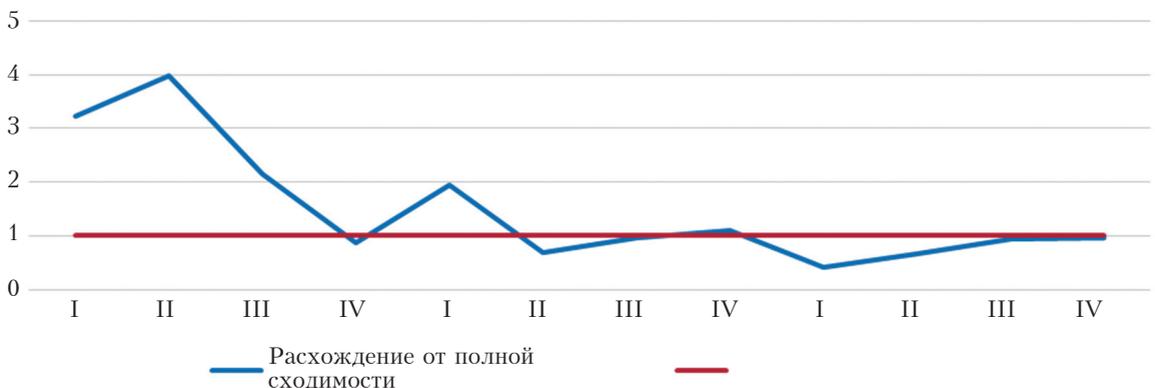


Рис.4. Оценка сходимости Co-60.

о проведении оценки корреляции результатов радиационного контроля параметров выбросов с результатами РКЭС при отсутствии четко определенных процедур проведения указанной оценки. В целях ликвидации указанного правового вакуума целесообразно рассмотреть вопрос о разработке соответствующего нормативного документа федерального или ведомственного уровня (руководство по безопасности либо методические указания эксплуатирующей организации), определяющего порядок оценки корреляционных зависимостей между параметрами выбросов и результатами РКЭС в СЗЗ.

2. Необходимо регуляторно закрепить цели, периодичность и процедуры оценки корреляционных зависимостей. В качестве целей могут быть приняты:

- выявление несанкционированных источников выбросов радионуклидов на площадке объекта использования атомной энергии;
- выявление недостоверных показаний аппаратуры контроля выбросов радионуклидов в атмосферу.

3. Для каждой ОИАЭ должны быть научно обоснованы пары параметров, подлежащие контролю корреляции, процедуры оценки корреляции, а также допустимые значения параметров, характеризующих корреляцию.

4. В качестве простейшего способа оценки корреляции может быть использована методология, предложенная НВАЭС (оценка по суммарной активности выбросов за квартал и суммарной активности фильтров на аспирационных/седиментационных постах по величине коэффициента корреляции Пирсона и критерию сходимости).

Литература

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности блока атомной станции с реактором типа ВВЭР. НП-006-16.
2. Рекомендации МАГАТЭ. Мониторинг окружающей среды и источников для целей радиационной защиты. RS-G-1.8.
3. Отчет об оказании информационно-консультативных услуг эксплуатирующей организации в части определения характеристик выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду в целях повышения эффективности радиационного контроля. ИБРАЭ РАН, 2022.
4. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в атмосфере. Справочник, 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1991.

Experience in Correlation Analysis of Radionuclide Release Sources Radiation Monitoring and Environmental Monitoring Results in Novovoronezh NPP Sanitary Protection Area

Povarov Vladimir, Rosnovsky Sergey, Karasev Vyacheslav, Rosnovskaya Olga, Dimitryaichev Alexander, Chernyshov Denis, Rosnovsky Viktor (Novovoronezh NPP Branch of JSC Rosenergoatom, Russia)

Abstract. The article deals with correlation analysis of radionuclide release sources radiation monitoring and environmental monitoring results in Novovoronezh NPP (NVNPP) sanitary protection area. Functional relationship between parameters of power units releases and results of radiation monitoring in environment of sanitary protection area of NVNPP was assessed and evaluated using Pearson product-moment correlation coefficient.

Key words: correlation estimation, monitoring, radiation monitoring, releases, radionuclides.

*В.П.Поваров (д.т.н., зам.ген.дир., дир.ф-ла), С.В.Росновский (к.т.н., зам. гл.инж.),
В.Н.Карасев (зам.нач.цеха), О.В.Росновская (нач.лаб.), А.С.Димитрайчев (инж.),
Д.В.Чернышов (нач.участка), В.С.Росновский (оператор реакторного отд.)
Филиал АО «Концерн Росэнергоатом», «Нововоронежская АЭС», г. Нововоронеж
Контакты: тел. +7 (47364) 7-37-68; e-mail: ShabuninaNV@nvpp1.rosenergoatom.ru*